

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

2
5-25-01
9. hte



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application:

2000年 2月15日

出 願 番 号
Application Number:

特願2000-036690

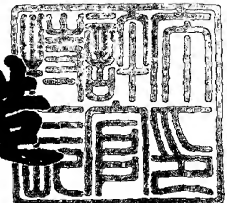
出 願 人
Applicant (s):

株式会社東芝

2000年11月10日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3094616

【書類名】 特許願

【整理番号】 A009906846

【提出日】 平成12年 2月15日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G03F 7/20

【発明の名称】 露光装置の検査方法

【請求項の数】 6

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横
浜事業所内

【氏名】 佐藤 和也

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横
浜事業所内

【氏名】 井上 壮一

【特許出願人】

【識別番号】 000003078

【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

【識別番号】 100058479

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴江 武彦

【電話番号】 03-3502-3181

【選任した代理人】

【識別番号】 100084618

【弁理士】

【氏名又は名称】 村松 貞男

【選任した代理人】

【識別番号】 100068814

【弁理士】

【氏名又は名称】 坪井 淳

【選任した代理人】

【識別番号】 100092196

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋本 良郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100091351

【弁理士】

【氏名又は名称】 河野 哲

【選任した代理人】

【識別番号】 100088683

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 誠

【選任した代理人】

【識別番号】 100070437

【弁理士】

【氏名又は名称】 河井 将次

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011567

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光装置の検査方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 照明光学系から射出した光を、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返され、かつ該透光部と遮光部の比が複数与えられた回折格子パターンであって周囲を遮光領域で遮られた光透過パターンを含む光学部材によりパターンが形成されたフォトマスクに導き、

前記フォトマスクを通過した回折光を投影光学系に照射させて前記パターンをウェハ上に転写し、

前記ウェハ上に転写された回折光のパターン像に基づいて、前記投影光学系の光の経路に依存した透過率の変化を測定するものであって、

前記フォトマスクと前記ウェハが前記投影光学系に関して非共役な状態でパターン転写することを特徴とする露光装置の検査方法。

【請求項 2】 前記投影光学系のウェハ側の開口数を NA 、前記露光装置のコヒーレンスファクタを σ 、露光波長を λ 、前記フォトマスクの倍率を M としたとき、前記回折格子パターンの周期は、

$$p > M \lambda / NA (1 + \sigma)$$

を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 3】 前記光透過パターンは半径 r の円形をなし、前記フォトマスクの厚さを d 、露光波長を λ 、露光波長 λ における前記フォトマスクの材質の屈折率を n とすると、

$$0.4 (n d \lambda)^{1/2} \leq r \leq (n d \lambda)^{1/2}$$

を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 4】 前記フォトマスクと前記ウェハの前記投影光学系に関する非共役な状態は、パターン露光に用いられる前記フォトマスクの光学部材が配置される表面とは反対側の表面に、前記光学部材の遮光部を配置することにより実現することを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 5】 前記光透過パターンの遮光部は半透明部であり、該半透明膜と前記透光部を通過した光の位相が互いに異なることを特徴とする請求項 1 に記

載の露光装置の検査方法。

【請求項 6】 前記透過率の変化の測定は、前記光透過パターンから得られるレジストパターンのレジストの形成領域と非形成領域との境界線を等高強度線とし、該等高強度線を異なる条件で複数求め、得られた複数の等高強度線を重ね合わせるにより等高強度線図を得ることにより測定されることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置の検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体素子製造に使用する投影露光装置の検査方法に係わり、特に露光装置の投影光学系の性能を検査するための露光装置の検査方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体デバイスの回路パターンの製造には、リソグラフィ技術が一般に使用される。リソグラフィ工程に使用される投影露光装置では、照明光学系から射出された光が、回路パターンが描画されたフォトマスクに入射する。そして、フォトマスクを通過した光は投影光学系により集光される。そして、一般にはフォトレジストが塗布された感光基板、具体的には例えばシリコンウェハ上にフォトマスクの回路パターンが結像投影される。

【0003】

ところで、形成すべき半導体デバイスパターンが微細になってくると露光装置に求められる性能も厳しくなる。露光装置の性能は、その装置を構成する種々の光学部品により定まるものではあるが、半導体デバイスのパターンが微細になるにつれて、フォトマスクにおける光の回折が顕著になる。パターンが周期的になる場合、離散的な回折光が発生し、また周期が小さくなるほど回折角が大きくなることが知られている。微細な周期パターンを形成するためには、光軸から遠ざかる方向に進行する 1 次回折光を捕捉し、ウェハ上に集光する必要があるので、投影光学系の直径を大きくする必要がある。

【0004】

ところで、投影光学系を構成する投影レンズが大きくなってくると、光の経路に依存した光の透過率が変化する問題が生じる。露光波長に対して比較的大きなパターンを露光する場合には、光の回折角は大きくないため、投影レンズの光軸近傍を通る光だけが結像に寄与する。すなわちパターン結像に用いられる0次回折光及び1次回折光はほぼ同じ経路を通過する。従って、各回折光の強度は投影光学系の透過率変動の影響を受けず、フォトリソマスク上のパターンの形状によってのみ決定される。

【0005】

これに対して微細パターンを露光する場合には、回折角が大きいため、0次回折光と1次回折光の経路は異なる。従って、投影光学系内の透過率が光の経路に依存して変動する場合、ウェハに到達する回折光はその影響を受け、強度が変化する。

【0006】

投影レンズの設計上、投影光学系内の透過率変動は起きないようにしている。光の経路に依存した透過率変動は、例えばレンズ表面に付着した汚れやレンズ材の結晶欠陥等で発生し得る不具合であるが、露光装置を分解することなくこの現象を測定する方法はこれまで考案されていない。

【0007】

上記光の経路依存の透過率変動は、0次回折光及び1次回折光の強度を変化させる。通常の露光方法で半導体デバイスパターンを作成する場合、ウェハ上のレジストパターンはこれら回折光の干渉により形成されるため、上記透過率変動は露光装置のパターン結像能力に影響を与え、微細パターンの転写能力が低下すると考えられる。

【0008】

微細な周期パターンを0次回折光と1次回折光の干渉により形成させる場合、干渉により発生する光は明部と暗部を構成する。明度の度合いはコントラストという量で表され、明暗がはっきり分かれている場合に、“コントラストが高い”といい、また、干渉光のコントラストが高いほど、ウェハ上への上記パターンの転写が容易になる。換言すれば、微細パターンが結像可能なフォーカス裕度及び

露光量裕度を広くするために、コントラストは高い方が望ましい。コントラストは互いに干渉する光のそれぞれの強度によって定められる。

【 0 0 0 9 】

上記不具合が起きないものと仮定して回路パターンを設計してしまうと、ウェハ上に形成される干渉光のコントラストが充分高くなく、その結果パターンが形成されない恐れがある。パターンの微細化が進行し、シミュレーションを駆使したリソグラフィ設計が重要な意味を持ち始めた今日では、このような予想外の不具合が露光装置にあることは好ましくない。露光装置の組立の過程で問題点を除去しておくか、あるいはその不具合量を予め測定しておき、シミュレーションに取り入れる必要がある。

【 0 0 1 0 】

従来一般に行われていたコントラストの測定の一例を図 1 8 を用いて説明する。図 1 8 はある露光量 D で露光したときの、形成されるレジストパターン（左図）と、相対的な光強度 I ($= 1/D$)（右図）との関係を示している。コントラストは、光強度ピークにおける光強度 I_1 と、ピーク間の光強度極小での値 I_5 を用いて次式で表される。

【 0 0 1 1 】

$$(\text{コントラスト}) = (I_1 - I_5) / (I_1 + I_5)$$

$$\begin{aligned} \text{すなわち、} (\text{コントラスト}) &= (1/D_1 - 1/D_5) / (1/D_1 + 1/D_5) \\ &= (D_5 - D_1) / (D_5 + D_1) \end{aligned}$$

ここで、 I_1 は光強度がピークとなる強度 I_5 は光強度ピーク間の極小での強度である。しかしながら、この図 1 に示した方法では、コントラストの低下の有無は確認できるものの、コントラスト低下の原因を特定するのは非常に困難である。

【 0 0 1 2 】

回折光強度の変化が原因となるもう一つの現象は、回折光強度の重心が投影光学系の中心からずれることによるウェハでのフォーカスに依存したパターンの位置ずれである。ライン&スペースパターンを例にとると、1 次回折光は 0 次回折光を対称点として +1 次及び -1 次の 2 つが生じる。+1 次と -1 次の回折光の

強度に差がある場合、パターンが形成される位置がウェハのデフォーカス量に依存して横ずれする。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

上述したようにパターン露光で生じる回折光の強度が不均一となる原因は、投影光学系の光透過率の部分的な変動である。しかしながら、従来のコントラスト測定では、コントラストの低下の有無は確認できるものの、コントラスト低下の原因を特定するのは非常に困難である。

【0014】

本発明は上記課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、光の経路に依存した投影光学系の光透過率の変動を特定することができる露光装置の検査方法を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る露光装置の検査方法は、照明光学系から射出した光を、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返され、かつ該透光部と遮光部の比が複数次与えられた回折格子パターンであって周囲を遮光領域で遮られた光透過パターンを含む光学部材によりパターンが形成されたフォトマスクに導き、前記フォトマスクを通過した回折光を投影光学系に照射させて前記パターンをウェハ上に転写し、前記ウェハ上に転写された回折光のパターン像に基づいて、前記投影光学系の光の経路に依存した透過率の変化を測定するものであって、前記フォトマスクと前記ウェハが前記投影光学系に関して非共役な状態でパターン転写することを特徴とする。

【0016】

本発明の望ましい形態を以下に示す。

【0017】

(1) 前記投影光学系のウェハ側の開口数を NA 、前記露光装置のコヒーレンスファクタを σ 、露光波長を λ 、前記フォトマスクの倍率を M としたとき、前記回折格子パターンの周期は、 $p > M\lambda / NA(1 + \sigma)$ を満たす。

【 0 0 1 8 】

(2) 前記光透過パターンは半径 r の円形をなし、前記フォトマスクの厚さを d 、露光波長を λ 、露光波長 λ における前記フォトマスクの材質の屈折率を n とすると、 $0.4 (nd\lambda)^{1/2} \leq r \leq (nd\lambda)^{1/2}$ を満たす。

【 0 0 1 9 】

(3) 前記フォトマスクと前記ウェハの前記投影光学系に関する非共役な状態は、パターン露光に用いられる前記フォトマスクの光学部材が配置される表面とは反対側の表面に、前記光学部材の遮光部を配置することにより実現する。

【 0 0 2 0 】

(4) 前記光透過パターンの遮光部は半透明部であり、該半透明膜と前記透光部を通過した光の位相が互いに異なる。

【 0 0 2 1 】

(5) 前記光透過パターンの周囲の遮光領域は、該光透過パターンから少なくとも $1200 \mu m$ 以上の距離までの領域に配置されてなる。

【 0 0 2 2 】

(6) 回折パターンはライン&スペースパターン、2次元格子パターン、縦方向と横方向の周期が等しい正方格子パターン、市松格子パターン、あるいは正六角形の遮光部あるいは透光部が蜂の巣状に配置された六方格子状パターンである。

【 0 0 2 3 】

(7) (6) の2次元格子パターンは、円形の透光パターンが2次元格子として配置されてなる。

【 0 0 2 4 】

(8) (6) の2次元格子パターンは、円形の遮光パターンが2次元格子として配置されてなる。

【 0 0 2 5 】

(作用)

本発明では、露光装置の投影光学系の検査において、通常のパターン露光と同様に、光源から射出した光をフォトマスクに導き、該フォトマスクを通過した光を投影光学系に照射させ、該フォトマスクのパターン像をウェハ上に転写する。

【 0 0 2 6 】

本発明のパターン転写では、フォトマスクに有限の周期で透光部と遮光部が繰り返された回折パターンの周囲を遮光領域で遮った光透過パターンが形成されているため、照明光学系からの光をフォトマスクに通すことにより、回折光が得られる。

【 0 0 2 7 】

また、フォトマスクとウェハが投影光学系に関して非共役な状態となる。これにより、回折光を 0 次からそれ以上の高次回折光まで分離した状態で、かつ回折光成分が十分な大きさを持った状態でパターン転写が行える。本発明では、投影光学系のウェハ側の開口数を NA 、露光装置のコヒーレンスファクタを σ 、露光波長を λ 、マスクの倍率を M としたとき、回折格子パターンの周期を $p > M\lambda / NA(1 + \sigma)$ とする。これにより、1 次回折光をウェハ上に転写することができ、光強度分布を検査することができる。

【 0 0 2 8 】

このようにして得られたウェハ上のパターンを観察することにより、投影光学系の光の経路に依存した光透過率の変化を測定することができる。

【 0 0 2 9 】

具体的には、透光部と遮光部の比を変えて転写されたパターンをそれぞれ重ね合わせ、光強度分布の等高強度線図を得ることにより、投影光学系の経路に依存した光透過率を検査することができる。

【 0 0 3 0 】

さらに望ましくは、上記回折パターンが形成されたフォトマスクをハーフトーンマスクにより構成する。そして、回折パターンを透光部と、透光部に対して位相を変化させた半透明位相シフト部により構成する。ここにおいて、回折格子のデューティー比を調節して 0 次回折光の強度が弱まり、0 次回折光によるパターンが転写されなくすることができる。この場合、1 次回折光のみを観察することができ、露光装置の光学系の光軸に近い 1 次回折光成分が観察可能となる。

【 0 0 3 1 】

また、フォトマスクをウェハの投影光学系に関する非共役な状態を、パターン

露光に用いられる前記フォトマスクの光学部材が配置される表面とは反対側の表面に、前記光学部材の遮光部を配置することにより実現する。すなわち、フォトマスクをパターン露光の場合とは表裏逆にして露光装置のマスクホルダに装着することにより、パターン露光に用いられる露光装置の構成をそのままにして、非常に簡便に非共役状態を発生させることができる。もちろん、フォトマスク又はウェハの少なくとも一方の位置を共役な位置から光軸方向に移動させてもよい。

【0032】

また、光透過パターンを半径 r の円形とし、前記フォトマスクの厚さを d 、露光波長を λ 、露光波長 λ における前記フォトマスクの材質の屈折率を n とすると

$$0.4 (nd\lambda)^{1/2} \leq r \leq (nd\lambda)^{1/2}$$

を満たすような条件に設定する。これにより、光透過パターンをピンホールと見た場合のピンホールカメラとしての分解能を高めることができる。

【0033】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

【0034】

(第1実施形態)

図1は本発明の第1実施形態に係る検査の対象とする露光装置の全体構成を示す図である。本実施形態では、KrFエキシマレーザ縮小投影露光装置 (λ : 248nm、NA: 0.6, σ : 0.3, マスクの倍率M: 4) の検査を行う場合を例にとって説明する。

【0035】

図1は本実施形態の検査対象とする縮小投影露光装置の全体構成を示す図である。図1に示すように、光源1と、フォトマスク3と、投影光学系4と、ウェハ5とが、これらの順に露光光2の光路に沿って配列されて露光装置を構成している。

【0036】

図2は上記露光装置に組み込まれるフォトマスク3を示す図である。図2(a

）の全体構成平面図に示すように、フォトマスク 3 には光透過パターンとしてピンホールパターン 2 2 が配置されている。そして、このピンホールパターン 2 2 の周囲は遮光領域 2 3 となっている。ピンホールパターン 2 2 の直径は $80\ \mu\text{m}$ である。

【0037】

図 2 (b) はフォトマスク 3 のピンホールパターン 2 2 の一部を拡大した図である。図 2 (b) に示すように、フォトマスク 3 のピンホールパターン 2 2 にはライン&スペースパターンからなる回折パターン 2 4 が形成されている。この回折パターン 2 4 は遮光部 2 5 と透光部 2 6 からなり、周期は $1.6\ \mu\text{m}$ で、遮光部 2 5 の幅と透光部 2 6 の幅の比が 1 : 1 である。

【0038】

なお、本実施形態では、投影光学系 4 のウェハ 5 側の開口数を NA 、露光装置のコヒーレンスファクタを σ 、露光波長を λ 、マスクの倍率を M としたとき、回折格子パターンの周期は $p > M\lambda / NA (1 + \sigma)$ を満たす。これにより、0 次回折光と 1 次回折光を分離してウェハ 5 上に転写することができるため、0 次回折光に干渉されずに光強度分布を検査することができる。

【0039】

以上に示したフォトマスク 3 を、図 1 に示すように、パターンが形成された面を照明光学系 1 側に配置されるように設置してパターン露光を行う。通常、パターン露光の場合にはウェハ 5 側に実パターン形成面がくるように設置される。本実施形態のように実パターン露光とは表裏逆にしてフォトマスク 3 をマスクホルダに装着することにより、投影光学系 4 に対してウェハ 5 とフォトマスク 3 を共役でない状態にすることができる。なお、ウェハ 5 上には図示しないレジストが塗布されている。

【0040】

図 3 はパターン露光により得られるレジストパターンを模式的に示す平面図である。図 3 に示すように、破線で囲まれた光到達可能領域 3 1 内が、照明光学系 1 からフォトマスク 3、投影光学系 4 を介して通過する光が到達可能な領域である。これは、投影光学系 4 を構成する瞳 4 a により投影光学系 4 を通過する光が

絞られるからであり、この光到達可能領域 3 1 を規定する境界線が瞳 4 a の外縁に対応する。

【 0 0 4 1 】

図 1 に示すように、瞳 4 a 内を 0 次回折光 6、+ 1 次回折光 7 a 及び - 1 次回折光 7 b が通過するため、ウェハ 5 には 0 次回折光パターン 3 2 と ± 1 次回折光パターン 3 3 a 及び 3 3 b が生じる。これら回折光パターン 3 2、3 3 a 及び 3 3 b は露光装置の照明光学系 1 から射出される光の断面形状の相似形であり、照明の大きさを表すコヒーレンスファクタ σ の値を反映した大きさとなっている。

【 0 0 4 2 】

また、回折光 6、7 a 及び 7 b それぞれの強度を反映した像がウェハ 5 上に形成される。± 1 次回折光 7 a 及び 7 b は、部分的に投影光学系 4 の瞳 4 a 周辺の絞りによって遮られ、欠けた形状となっている。この欠けた形状から、投影光学系 4 の有効な大きさとして、瞳の大きさを知ることができる。

【 0 0 4 3 】

このようなレジストパターンを例えば光学顕微鏡で観察し、レジストパターンが形成されている領域とレジストパターンが形成されていない領域とで境界線を定める。具体的には、回折光パターン 3 2、3 3 a 及び 3 3 b とそれ以外の領域との間の境界線がここで定められる境界線となる。

【 0 0 4 4 】

以上に示したパターン露光を、露光量を変えて複数回行う。本実施形態では一例として 5 回の露光を行う。5 回の露光により得られるレジストパターンの平面図を図 4 に示す。4 1 ~ 4 5 で示されたのが各露光量におけるレジストパターンの平面図である。レジストパターン 4 1 は最も露光量が低い場合、4 2、4 3 … となるにつれて露光量が増加し、レジストパターン 4 5 が最も露光量が高い場合である。

【 0 0 4 5 】

図 4 に示すように、露光量を変えることにより、回折光パターン 3 2、3 3 a 及び 3 3 b の大きさは異なることが分かる。低い露光量ではほとんど見えていない 1 次回折光パターン 3 3 a 及び 3 3 b が露光量を増加させることによりはっき

りと見えてくる。このように露光量が異なると、回折パターン 3 2, 3 3 a 及び 3 3 b の境界線も異なってくる。

【0046】

このように露光量を変えて得られた 5 種類のレジストパターン 4 1 ~ 4 5 に基づいて、+ 1 次回折光と - 1 次回折光の強度差を求める。具体的には、予めある基準となる回折光パターンの形状（以下、基準パターンと呼ぶ）を定める。そして、着目する回折光パターンがこの基準パターンと同じ形状となったときの露光量を測定する。例えば、+ 1 次回折光パターン 3 3 a が基準となったときの露光量を M_a 、- 1 次回折光パターン 3 3 b が基準となったときの露光量を M_b とする。

【0047】

そして、得られた露光量 M_a 及び M_b から、その基準パターンを形成するための光強度を見る。光強度の比は露光量の比の逆数と考えられる。従って、+ 1 次回折光パターン 3 3 a を基準形状に仕上げる光強度を I_a 、- 1 次回折光パターン 3 3 b を基準形状に仕上げる光強度を I_b とすると、 $1/M_a : 1/M_b = I_a : I_b$ となる。例えば $M_a : 1/M_b = 9 : 10$ であった場合、回折光強度の比 $I_a : I_b = 1/9 : 1/10 = 10 : 9$ となる。

【0048】

理想的な投影光学系であれば、+ 1 次回折光及び - 1 次回折光ともに強度が等しいため、この回折光強度 I_a 及び I_b は等しくなる。一方、投影光学系を構成するレンズ表面に付着した汚れやレンズ材の結晶欠陥等が生じていると、その部位における光強度は低くなる。+ 1 次回折光及び - 1 次回折光は投影光学系の内部を通過したのであるから、投影光学系の 2 つの経路間で透過率これらの原因により透過率が異なり、その違いを比で表すと $10 : 9$ であるということが明らかになる。従って、露光量 M_a 及び M_b に基づいて投影光学系の透過率を検査することが可能となる。

【0049】

このように本実施形態によれば、フォトマスクに有限の周期で透光部と遮光部が繰り返された回折パターンの周囲を遮光領域で遮り、かつパターン形成面を実

パターン露光とは表裏逆に配置して照明光学系からの光をフォトマスクに通すことにより、フォトマスクとウェハが投影光学系に関して非共役な状態で投影光学系の経路に依存した光透過率の変化を測定することができる。

【 0 0 5 0 】

本発明は上記実施形態に限定されるものではない。ライン&スペースパターンとして透光部と遮光部の比が1 : 1 のものを用いたが、これに限定されず、±1 次回折光が生じるようないかなる比率に設定してもよい。

【 0 0 5 1 】

また、単一のパターンを用いて露光量を変化させて検査を行ったが、他の方法で光強度の比を測定しても良い。例えば、同一の周期を持つ同一形状のパターンを複数用意し、各パターンのデューティー比、すなわちパターンの周期に対する透光部の比を変えてパターン露光を行っても良い。この場合、異なるデューティー比のパターンをそれぞれ1枚のフォトマスクに形成することにより、1回の露光で投影光学系を検査することが可能となる。

【 0 0 5 2 】

図5はこのデューティー比を変化させる手法を採用することにより1回の露光で済む原理を説明するための図である。図5 (a) ~ (d) に示した5 1 a ~ 5 1 d は1枚のフォトマスクに形成されたマスクパターンを示すもので、各マスクパターン5 1 a ~ 5 1 d により得られるウェハ上のレジストパターンを模式的に表したのが図5 (e) ~ (h) である。

【 0 0 5 3 】

マスクパターン5 1 a ~ 5 1 d は、遮光領域2 3 内に直径8 0 μ m のホールパターン2 2 が形成されている点は共通しているが、それぞれのデューティー比が異なる。パターン5 1 a から順にデューティー比が低くなっている。従って、パターン5 1 a が最もデューティー比が高く、5 1 d が最も低い。

【 0 0 5 4 】

このような4種類のデューティー比を持ち、かつ周期の同じパターン5 1 a ~ 5 1 d によりパターンを転写すると、図5 (e) ~ (h) に示すように、それぞれのレジストパターンの形状が異なってくる。具体的には、回折光パターン3 2

、3 3 a 及び 3 3 b の形状が異なってくる。回折光パターン 3 2、3 3 a 及び 3 3 b は、図 3 では円形で示されているが、このように円形になるのは照明光学系から照射される光が円形の照射領域を有している場合である。実際の照明光学系は複数の点光源の集合により構成されており、詳細に示すと図 5 (e) ~ (h) のようになる。

【0055】

従って、回折光パターン 3 2、3 3 a 及び 3 3 b は複数の円形パターンの集合により構成される。デューティー比を高くする、すなわち透光部を大きくとることにより、ホールパターン 2 2 を通過する光量も多くなり、光強度も高くなる。このように、デューティー比によってウェハに到達する光強度を変えることができる。従って、これらパターン 5 1 a ~ 5 1 d で露光することにより、複数の露光量で同一パターンを露光すると同様の情報を光強度に関して得ることができる。なお、この変形例では 1 枚のフォトマスクにデューティー比の異なるパターンを複数配置する場合を示したが、複数のフォトマスクに配置してもよいことはもちろんである。

【0056】

また、本実施形態では回折パターン 2 4 の周期を $1.6 \mu\text{m}$ としたが、これに限定されるものではない。また、本実施形態のように単一の周期を持つ単一の回折パターンではなく、複数周期の複数の回折パターンによれば、さらに詳細な検査が可能となる。複数周期の回折パターンを用いて検査を行う変形例を図 6 を用いて説明する。

【0057】

図 6 (a) ~ (d) に示した 6 1 a ~ 6 1 d は 1 枚のフォトマスクに形成されたマスクパターンを示すものであり、各マスクパターン 6 1 a ~ 6 1 d により得られるウェハ上のレジストパターンを模式的に表したのが図 6 (e) ~ (h) である。

【0058】

マスクパターン 6 1 a ~ 6 1 d は遮光領域 2 3 内に直径 $80 \mu\text{m}$ のホールパターン 2 2 が形成されている点は共通しているが、それぞれのパターンの周期が異

なる。パターン 6 1 a から順に周期が小さくなっている。従って、パターン 6 1 a が最もパターン周期が大きく、6 1 d が最も小さい。なお、各パターン 6 1 a ～ 6 1 d の持つ回折パターンのデューティー比はそれぞれ 1 : 1 と共通している。

【 0 0 5 9 】

このような 4 種類のパターン周期を持ち、かつ同一のデューティー比を持つパターン 6 1 a ～ 6 1 d によりパターンを転写すると、図 6 (e) ～ (h) に示すように、それぞれのレジストパターンにおける±1 次回折光パターン 3 3 a 及び 3 3 b の転写位置が異なってくる。これは、前述の通り回折格子の周期を変えることにより、±1 次回折光 7 a 及び 7 b の経路を変えることができる原理に基づく。従って、投影光学系 4 の中でも±1 次回折光 7 a 及び 7 b の経路は異なる。このような異なる経路を通過した±1 次回折光 7 a 及び 7 b を測定するということは、投影光学系 4 を構成するレンズの中心近傍を通過した光から周辺近傍を通過した光までを測定することに等しい。

【 0 0 6 0 】

このような光経路の違いはレジストパターン上でも同様である。フォトマスク 3 通過後に直進する成分は光到達可能領域 3 1 の中心近傍に照射され、フォトマスク 3 通過後に大きな回折角をもって進む成分は光到達可能領域 3 1 の周辺部分に照射される。従って、図 5 (e) ～ (h) に示すように複数位置に形成された回折光パターン 3 3 a 及び 3 3 b を観察することにより、投影光学系の半径方向に複数の光強度の情報を得ることを意味する。このように、複数の周期パターンを用いることにより、投影光学系に関してより多くの情報を得ることができる。

【 0 0 6 1 】

なお、光到達可能領域 3 1 により示される円形領域の半径方向についてすべての径をカバーするように回折パターンの周期を複数設けることにより、半径方向についてすべての径における投影光学系の情報を得ることができる。また、これら複数の周期を持つパターンを 1 枚のフォトマスクに設けることにより、1 回の露光でこのような多くの情報を得ることができ、検査時間が短縮化され、測定も簡便となる。

【0062】

また、本実施形態では図において上下方向にラインの長手方向が配置されたパターンを示したが、これに限定されるものではない。複数の方向にラインの長手方向が配置されたパターンを使用することにより、投影光学系に関してさらに詳細な情報を得ることができる。

【0063】

図7はラインの長手方向を複数の方向に配置したパターンを用いて検査を行う原理を示す図である。図7(a)に示すように、1枚のフォトマスク70上に同一直径80 μ mのピンホールパターン71a~71dが形成されている。これらピンホールパターン71a~71d内にはそれぞれ回折パターンが形成されている。なお、これらパターン71a~71d以外の領域は遮光領域73である。また、図7(a)にはパターン71a~71d内の回折パターン72a~72dを拡大して示してある。この回折パターン72a~72dの拡大図を見ても分かるように、各回折パターン72a~72dは遮光部74及び透光部75からなるライン&スペースパターンであり、同一周期で同一のデューティー比を持つ。各回折パターン72a~72dでそれぞれ異なるのはライン&スペースパターンのライン長方向が異なることである。

【0064】

この図7(a)に示すフォトマスク70により形成されるレジストパターンを模式的に示したのが図7(b)である。パターン71a~71dにより転写されるパターンはそれぞれ76a~76dに対応する。図7(b)からも分かるように、光到達可能領域31内には0次回折光パターン32及び±1次回折光パターン33a及び33bが形成される。±1次回折光パターン33a及び33bは0次回折光パターン32を挟んで回折パターンのライン長方向に垂直な方向にずれた位置に形成される。従って、回折パターンのライン長方向を変えることで、形成される位置が異なるのが分かる。

【0065】

このように、複数の方向に回折格子が形成されたフォトマスクを用いることにより、光到達可能領域31内においてその中心から複数の方向の位置に対応する

投影光学系の透過率を測定することができる。

【0066】

なお、図7に示した例では4種類の方向にライン長方向が配置されたパターンを用いて説明したが、これに限定されないことはもちろんである。例えば、光到達可能領域31のすべての周縁部をカバーする方向に回折パターンのライン長方向を配置することにより、投影光学系を構成するレンズを、その中心から見てすべての方向について検査することが可能となる。また、1枚のフォトマスクにこれら複数の周期パターンを配置する必要がないことは、デューティー比を異ならしめた図5に示す変形例の場合と同様である。

【0067】

(第2実施形態)

図8～図10は本発明の第2実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態では、第1実施形態と同様に、KrFエキシマレーザ縮小投影露光装置(λ :248nm、NA:0.6、 σ :0.3、マスクの倍率M:4)の検査を行う場合を例にとって説明する。従って、露光装置の構成についての詳細な説明は省略する。本実施形態の特徴点は、検査に用いられるフォトマスクに描画されたピンホール中の回折格子の形状にある。第1実施形態ではピンホールパターン内にライン&スペースパターンが配置されたが、本実施形態では正方格子パターンが配置される。

【0068】

図8は本実施形態で使用されるフォトマスク80の全体構成を示す図である。なお、第1実施形態で用いられるフォトマスク3の代わりにフォトマスク80を配置することにより図1に示す露光装置に本実施形態を適用することができる。図8(a)に示すように、15cm×15cmのフォトマスク80には、ピンホールパターン81がそれぞれ等間隔に配置されている。各ピンホールパターン81の直径は第1実施形態と同じく80 μ mであり、最も近くに位置する他のパターン81との距離は1200 μ mとなるように配置されている。

【0069】

ピンホールパターン81の直径を80 μ m、各ピンホールパターン81同士の

距離を $1200\ \mu\text{m}$ とした理由を説明する。

【0070】

本実施形態におけるピンホールパターン 81 は、原理的にはピンホールカメラと同じである。ピンホールカメラの分解能はピンホールの半径を r 、ピンホールから像を写す面までの光路長を l 、光の波長を λ としたとき、

$$r = (l\lambda)^{1/2}$$

を満たす場合に最適になることは広く知られている。本実施形態の場合、ウェハ 7 上に転写されるパターン像は、投影光学系に関して共役な位置、すなわちマスクの表側において高い分解能であればよい。従って、上記の光路長 l として、フォトマスク 3 の厚さ d とフォトマスク 3 本体を構成するガラスの屈折率 n の積を取ることで、高分解能の像が得られる。但し、本実施形態では必ずしも分解能が最高である必要はなく、次式を満たしていれば充分である。

【0071】

$$0.4 (nd\lambda)^{1/2} \leq r \leq (nd\lambda)^{1/2}$$

本実施形態の場合、 $n = 1.5$ 、 $d = 6.35\ \text{mm}$ 、 $\lambda = 248\ \text{nm}$ であるため、ピンホールパターン 81 の直径 $= 80\ \mu\text{m}$ は上式を満たしていることが分かる。

【0072】

上記の条件で露光した場合図 9 のいける、回折光到達可能領域 91 の直径は、約 $300\ \mu\text{m}$ となる。すなわち、別々のピンホールパターンの像が互いに重ならないために、別々のパターンが転写される位置はウェハ上で少なくとも $300\ \text{mm}$ だけ離れていなければならない。本実施形態ではマスクの倍率 $M = 4$ であるから、フォトマスク上のピンホールパターン同士の間隔は $1200\ \mu\text{m}$ 以上でなければならない。フォトマスク 80 上のピンホールパターン配列はこの条件を満たしている。

【0073】

図 8 (b) はフォトマスク 80 に配置されるピンホールパターン 81 近傍を拡大して示した図であり、図 8 (c) はその一部をさらに拡大して示した図である。図 8 (b) 及び (c) に示すように、このピンホールパターン 81 は遮光部 8

2と方形の透光部83からなる。

【0074】

遮光部82はマトリクス状に配置された透光部83がそれぞれ離間して配置されるようにライン状に図の上下方向及び左右方向に延び、格子形状をなしている。これにより、X方向及びY方向の2方向に対して回折格子としての機能を有する。遮光部82のライン幅を k 、透光部83の1辺の長さを a とすると、 $k=0.8\mu\text{m}$ 、 $a=0.8\mu\text{m}$ であり、パターン周期は $1.6\mu\text{m}$ となる。

【0075】

このように、図8(b)及び(c)に示されたピンホールパターン81が複数配置されているため、投影光学系内の透過率変動の露光領域内での変化を観察することが可能となる。

【0076】

以上に示されたフォトマスク80を用いて、第1実施形態と同様に投影光学系に関してウェハ5とフォトマスク80が非共役な状態でパターン露光を行う。また、第1実施形態と同様に、異なる露光量で複数回露光する。

【0077】

図9は上記露光により得られるレジストパターンを模式的に示す図である。図9に示すように、光到達可能領域91内が、照明光学系1からフォトマスク70、投影光学系4を介して通過する光がウェハ5に到達可能な領域である。本実施形態のフォトマスク80に設けられた回折パターンは2方向に周期性のある格子パターンであるため、一方向のみならず、その一方向に垂直な方向にも1次回折光が生じる。従って、ウェハ5には1つの0次回折光パターン92と4つの1次回折光パターン93～96が生じる。これら回折光パターン92～96は露光装置の照明光学系1から射出される光の断面形状の相似形である。また、回折光それぞれの強度を反映した像がウェハ5上に形成される。1次回折光93～96は部分的に投影光学系4の瞳4a周辺の絞りによって遮られ、欠けた形状となっている。この欠けた形状から、投影光学系4の有効な大きさとして、瞳の大きさを知ることができる。

【0078】

このようなレジストパターンを例えば光学顕微鏡で観察し、レジストパターンが形成されている領域とレジストパターンが形成されていない領域とで境界線を定める。具体的には、回折光パターン 9 2 ～ 9 6 とそれ以外の領域との間の境界線がここで定められる境界線となる。

【 0 0 7 9 】

以上に示したパターン露光を、露光量を変えて複数回行うことにより、図 1 0 に示すような形成面積の異なるレジストパターンを得ることができる。図 1 0 は、計 6 回の露光により得られるレジストパターンの平面図である。レジストパターン 1 0 1 は最も露光量が低い場合、1 0 2, 1 0 3 … となるにつれて露光量が増加し、レジストパターン 1 0 6 が最も露光量が高い場合である。図 1 0 に示すように、露光量を変えることにより、1 次回折光パターン 9 3 ～ 9 6 の大きさは異なってくる。低い露光量ではほとんど見えていない 1 次回折光パターン 9 3 ～ 9 6 が露光量を増加させることによりはっきり見えてくるのが分かる。このように、露光量が異なると回折光パターン 9 3 ～ 9 6 の境界線も異なってくる。

【 0 0 8 0 】

このように露光量を変えて得られた 6 種類のレジストパターン 1 0 1 ～ 1 0 6 に基づいて、各 1 次回折光 9 3 ～ 9 6 の強度比を求める。なお、強度比を求める工程は第 1 実施形態と同様であるので詳細な説明は省略する。

【 0 0 8 1 】

このように、本実施形態では格子状回折パターンを配置したフォトマスクを用いて検査を行う。これにより、第 1 実施形態と同様の効果を奏する他、一方向とさらにそれに垂直な方向に関しての投影光学系の情報を得ることができ、測定時間を短縮することができる。さらに、第 1 実施形態の場合よりも投影光学系に関して多くの情報を得ることができる。

【 0 0 8 2 】

(第 3 実施形態)

図 1 1 及び図 1 2 は本発明の第 3 実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態では、第 1 実施形態と同様に、KrFエキシマレーザ縮小投影露光装置 (λ : 248 nm、NA: 0.6, σ : 0.3, マスクの

倍率M：4）の検査を行う場合を例にとって説明する。従って、露光装置の構成についての詳細な説明は省略する。本実施形態の特徴点は、検査に用いられるフォトマスクに描画されたピンホール中の回折格子の形状にある。第1及び第2実施形態ではピンホールパターン内にライン&スペースパターンあるいは正方格子状パターンが配置されたが、本実施形態では蜂の巣状パターンが配置される。

【0083】

図11は本実施形態で使用されるフォトマスクの要部を示す図である。図11(a)に示すように、遮光領域111に囲まれて直径80 μ mのピンホールパターン112が配置されている。なお、本実施形態ではフォトマスクの全体構成は示さないが、単一のピンホールパターン112のみが形成されていても、複数のピンホールパターン112が形成されていても構わない。

【0084】

図11(b)は図11(a)に示すピンホールパターン111内を拡大して示した図である。このピンホールパターン111は遮光部113と円形の透光部114からなる。

【0085】

透光部114はピンホールパターン111内に多数形成されており、各透光部114同士が3方向に周期性を持つように配置されている。すなわち、透光部114はある一方向115に等間隔に配置され、かつこの方向115に対して60°の角度を持った方向116に等間隔に配置され、さらに方向115に対して120°の角度を持った方向117に等間隔に配置される。これら115～117の方向に等間隔に配置された隣接する透光部114を通過した光同士の干渉により回折現象が起きる。なお、各透光部114同士を区切る六角形の境界線は便宜上付したもので、この境界線上を含めて透光部114以外の領域はすべて遮光部113である。

【0086】

以上に示すピンホールパターン112が配置されたフォトマスクを用い、第1、第2実施形態と同様に検査を行う。具体的には、異なる露光量で複数回露光を行う。これにより得られたレジストパターンの一例を図12に示す。図12に示

すように、光到達可能領域 1 2 1 内が、照明光学系 1 からフォトマスク、投影光学系 4 を介して通過する光が到達可能な領域である。本実施形態のフォトマスクに設けられた蜂の巣状パターンは 3 方向に周期性を持つため、3 方向に回折現象が生じる。従って、ウェハ 5 には 1 つの 0 次回折光パターン 1 2 2 と 6 つの 1 次回折光パターン 1 2 3 ～ 1 2 8 が生じる。

【 0 0 8 7 】

このようなレジストパターンを例えば光学顕微鏡で観察する。この観察結果に基づいて、第 1 あるいは第 2 実施形態と同様の手法を用いて光強度の比を求めることにより、第 1 あるいは第 2 実施形態と同様に投影光学系の光の経路に依存した透過率の比を求めることができる。

【 0 0 8 8 】

このように、本実施形態では第 1，2 実施形態と同様の効果を奏する他、3 方向に周期性を持ったパターンを用いて検査を行うので、3 方向に 1 次回折光パターンを得ることができ、第 1，2 実施形態よりも投影光学系に関するさらに多くの情報を得ることができる。

【 0 0 8 9 】

(第 4 実施形態)

図 1 3 ～ 図 1 5 は本発明の第 4 実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態では、第 1 実施形態と同様に、KrF エキシマレーザ縮小投影露光装置 (λ : 248 nm、NA: 0.6, σ : 0.3, マスクの倍率 M: 4) の検査を行う場合を例にとって説明する。従って、露光装置の構成についての詳細な説明は省略する。本実施形態の特徴点は、位相シフトマスクを用いて検査を行う点にある。

【 0 0 9 0 】

図 1 3 は本実施形態で使用されるフォトマスク 1 3 1 の全体構成を示す図である。なお、第 1 実施形態で用いられるフォトマスク 3 の代わりにフォトマスク 1 3 1 を配置することにより図 1 に示す露光装置に本実施形態を適用することができる。図 1 3 に示すように、フォトマスク 1 3 1 は直径 80 μ m のピンホールパターン 1 3 2 が配置され、このピンホールパターン 1 3 2 外は遮光部 1 3 3 とな

っている。なお、この遮光部 133 は少なくともピンホールパターン 132 から $1200\text{ }\mu\text{m}$ 離間した位置まで形成されている。

【0091】

ピンホールパターン 132 内は、ハーフトーン位相シフト部 134 及び透光部 135 からなる。透光部 135 は複数の方形パターンからなり、格子状に配置されている。ハーフトーン位相シフト部 134 のパターン幅と透光部 135 のパターン幅の比は 1 : 1 であり、パターン周期は $3.2\text{ }\mu\text{m}$ である。ハーフトーン位相シフト部 134 の光透過率は 6 % であり、透光部 135 を通過した光と位相差が 180° 生じるようになっている。

【0092】

以上に示されたフォトマスク 131 を用いて、第 1 実施形態と同様に投影光学系に関してウェハ 5 とフォトマスク 131 が非共役な状態でパターン露光を行う。具体的には、実パターン露光の場合とはパターン形成面の表裏を逆にして露光装置のマスクホルダに装着して露光を行う。また、第 1 実施形態と同様に、異なる露光量で複数回露光する。

【0093】

図 14 (a) は上記露光により得られるレジストパターンを模式的に示す図である。図 14 (a) に示すように、光到達可能領域 141 内が、照明光学系 1 からフォトマスク 131、投影光学系 4 を介して通過する光がウェハ 5 に到達可能な領域である。本実施形態のフォトマスク 131 に設けられた回折パターンは 2 方向に周期性のある格子パターンであるため、一方向のみならず、その一方向に垂直な方向にも 1 次回折光が生じる。従って、ウェハ 5 には 4 つの 1 次回折光パターン 142 ~ 145 が生じる。これら 1 次回折光パターン 142 ~ 145 は露光装置の照明光学系 1 から射出される光の断面形状の相似形である。

【0094】

また、本実施形態で用いられるハーフトーンマスクの場合、透光部 135 とハーフトーン位相シフト部 134 との間で位相が 180° ずれており、かつ、両者の幅の比が 1 : 1 であるから、発生する 0 次回折光の強度は非常に弱くなり、ウェハ上には転写されない。

【 0 0 9 5 】

このようなレジストパターンを例えば光学顕微鏡で観察し、レジストパターンが形成されている領域とレジストパターンが形成されていない領域とで境界線を定める。具体的には、1次回折光パターン142～145とそれ以外の領域との間の境界線がここで定められる境界線となる。

【 0 0 9 6 】

以上に示したパターン露光を、露光量を変えて複数回行うことにより、パターン形成領域の異なるレジストパターンを複数得ることができる。このように露光量を変えて得られた複数のレジストパターンに基づいて各1次回折光142～145の強度比を求める。なお、強度比を求める工程は第1実施形態と同様であるので詳細な説明は省略する。

【 0 0 9 7 】

以上のようにハーフトーンマスクを用いて検査を行う利点を図15を用いて説明する。図15は本実施形態における1次回折光の経路を模式的に示す図である。フォトマスクが上記構成の場合、直進する0次回折光の強度は非常に弱いため、ウェハ5上でフォトレジストを感光させない。なお、図15では0次回折光は省略している。1次回折光はある定まった角度で4方向に発生し、それぞれ別の経路を辿ってウェハ5上に到達し、フォトレジストを感光させる。

【 0 0 9 8 】

本実施形態では、0次回折光が発生しないことにより、第1～第3実施形態の方法では0次回折光の存在により求めることが困難な1次回折光の成分を測定可能である。比較のため、ハーフトーンマスクではなく透光部と遮光部のみから形成された通常のマスクを用いた場合のレジストパターンを図14(b)に模式的に示す。図14(b)に示すように、1次回折光パターン142～145は0次回折光パターン146とウェハ5上でオーバーラップする領域が生じる。このオーバーラップ領域は、1次回折光のうち、光学系の中心軸に近い部分を通る光により形成された領域である。このように、0次回折光と1次回折光がオーバーラップする部分では、1次回折光パターン142～145のみを観察することができない。従って、この部分から投影光学系4の光透過率に関する情報を得ること

ができない。これに対して本実施形態のようにハーフトーンマスクを用いれば、0 次回折光成分は非常に弱い成分となり、0 次回折光パターン 1 4 6 は形成されない。従って、図 1 4 (b) に示されたようなオーバーラップ領域も生じることが無く、投影光学系 4 の中心に近い領域に到達する 1 次回折光が通過した経路の光透過率を測定できる。

【0 0 9 9】

なお、ピンホールパターン 1 3 2 の形状、ピンホールパターン 1 3 2 内の回折パターンの形状、向きや σ 値等は上記に示した値に限定されないことはもちろんであり、ハーフトーンマスクであって回折光を生じさせるものであればいかなるフォトマスクを用いても良い。また、ハーフトーン位相シフト部 1 3 4 と透光部 1 3 5 の位相差は必ずしも 180° である必要はなく、 90° の位相差等であってもよい。

【0 1 0 0】

本発明は上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態においては 1 次回折光のみを用いて測定する場合を示したが、2 次回折光以上の高次回折光を用いて測定することも可能である。但し、1 次回折光に比較して光強度が低いため、例えば周期パターンのデューティ比 ε を高くして用いる等することにより測定に利用可能である。また、0 次回折光も測定に用いることは可能である。この場合、予めシミュレーション等により 0 次回折光と 1 次回折光との光強度比を算出しておき、この光強度比に基づいて、実際にパターンを転写して得られる 0 次回折光パターンと 1 次回折光パターンを比較すればよい。

【0 1 0 1】

また、第 1 実施形態の図 7 に示す変形例では、異なるライン長方向を有する回折パターンを 4 個のピンホールパターン 7 1 a ~ 7 1 d として別個に配置したが、1 個のピンホールパターンに複数のライン長方向を持つ回折パターンを配置しても良い。図 1 6 はこの変形例を示す図である。図 1 6 (a) のマスクパターン 1 6 1 は 2 種類のライン長方向を持つ回折パターン 1 6 1 a 及び 1 6 1 b を遮光領域 1 6 1 c 内に配置したもので、図 1 3 (b) のマスクパターン 1 6 2 は 4 種類のライン長方向を持つ回折パターン 1 6 2 a ~ 1 6 2 d を遮光領域 1 6 2 e 内

に配置したものである。図 1 6 (a) に示すマスクパターン 1 6 1 により転写されたレジストパターンは、0 次回折光パターン 3 2 と 4 つの 1 次回折光パターン 3 3 a ~ 3 3 d が形成され、図 1 6 (b) に示すマスクパターン 1 3 2 により転写されたレジストパターンは、0 次回折光パターン 3 2 と 8 つの 1 次回折光パターン 3 3 a ~ 3 3 h が形成される。

【0 1 0 2】

このように、1 つのピンホールパターンに複数のライン長方向を有する回折パターンを配置して検査を行うことにより、図 7 に示す変形例と同様の効果を奏する他、さらに際立った効果を奏する。すなわち、図 7 に示す変形例の場合は、得られるレジストパターンを 4 つ合成することにより投影光学系について、投影光学系の中心から 8 方向の情報を得たが、図 1 3 に示す例の場合、レジストパターンを合成することなく単一のレジストパターンから複数方向の情報を得ることができる。従って、レジストパターンから得られる画像を合成する際の各画像間の誤差の影響を受けずに検査が行え、従って高精度の検査が可能となる。

【0 1 0 3】

また、フォトマスクに配置されるパターンとして円形のピンホールパターンを用いたが、これに限定されるものではない。フォトマスクの変形例を図 1 7 に示す。図 1 7 (a) に示すように、フォトマスク 1 7 1 a 内に三角形のホールパターン 1 7 2 が形成されたものや、(b) に示すように、フォトマスク 1 7 1 b 内に四角形のホールパターン 1 7 3 が形成されたもの、さらには (c) に示すようにフォトマスク 1 7 1 c 内に楕円形のホールパターン 1 7 4 が形成されたもの等、ホールパターンから所定の距離だけ周囲が遮光部で遮られたピンホールパターンであれば何でもよい。これらホールパターンの形状の大きさが円形のホールパターンと同じであれば、上記実施形態と同様の回折光が発生し、同様のレジストパターンが得られる。

【0 1 0 4】

また、ピンホールパターン内部に配置される回折格子としてライン&スペースパターン、正方格子パターン及び蜂の巣状パターンの場合を示したが、これらに限定されるものではない。例えば市松格子状パターンや、これらパターンの遮光

部と透光部を反転させたピラーパターン等、離散的な回折光を生じさせる回折パターンであれば何でもよい。

【0105】

さらに、上記実施形態では、露光量を変化させて複数得られた転写パターンを画像処理し、各画像を重ね合わせることにより等高強度線図を得たが、これに限定されるものではない。例えば、検査露光により得られたレジストパターンの膜厚から光強度分布を求め、このように得られる各パターンの強度分布を重ね合わせることにより光強度分布の等高強度線図を得ることもできる。この光強度分布の等高強度線図に基づいて投影光学系の光透過率を得ることができる。なお、この手法による場合には露光量とレジストパターンの膜厚が比例関係、あるいはそれに近い関係のレジストを用いるのが好ましい。

【0106】

さらに、露光装置の検査対象として、KrFエキシマレーザを光源を用いたが、例えばi線あるいはArFエキシマレーザ、F₂エキシマレーザ等を光源とした場合でも本発明と同様の効果を奏することはもちろんである。また、マスクの倍率Mや、NAも本実施形態に示す値に限定されない。また、露光装置の検査用マスクとしてフォトマスク3を説明したが、実際のパターン露光に用いられる実パターンを検査用のピンホールパターンとは表裏逆の面に配置してもよい。このようにすることにより、実際のパターン露光を行いその都度検査用パターンを用いてリアルタイムで簡便に投影光学系の光透過率を観察することができる。この場合、ピンホールパターンと実パターンは干渉し合わない程度に離間して配置するのが望ましい。

【0107】

【発明の効果】

以上詳述したように本発明によれば、光の経路に依存した投影光学系の光透過率の変動を特定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態に係る検査の対象とする露光装置の全体構成を示す図。

【図 2】

同実施形態に係る露光装置に組み込まれるフォトマスク 3 の全体構成を示す図。

【図 3】

同実施形態に係るパターン露光により得られるレジストパターンを示す平面図。

【図 4】

同実施形態に係る 5 種類の露光量による 5 回のパターン露光により得られるレジストパターンを示す平面図。

【図 5】

デューティー比を変化させる手法により検査を行う同実施形態の変形例を示す図。

【図 6】

複数周期の回折パターンを用いて検査を行う同実施形態の変形例を示す図。

【図 7】

複数の方向にライン長方向を持つ回折パターンを用いて検査を行う同実施形態の変形例を示す図。

【図 8】

本発明の第 2 実施形態で使用されるフォトマスクの全体構成を示す図。

【図 9】

同実施形態に係るパターン露光により得られるレジストパターンを模式的に示す図。

【図 1 0】

同実施形態に係る 6 種類の露光量による 6 回の露光により得られるレジストパターンの平面図。

【図 1 1】

本発明の第 3 実施形態で使用されるフォトマスクの要部を示す平面図。

【図 1 2】

同実施形態に係るパターン露光により得られるレジストパターンを模式的に示す図。

す図。

【図 1 3】

本発明の第 3 実施形態に係る露光装置の検査に用いられるフォトマスクの平面図。

【図 1 4】

同実施形態に係る検査方法により形成されたレジストパターン形状を他の実施形態と比較して示す図。

【図 1 5】

同実施形態に係る検査における 1 次回折光の光経路を示す模式図。

【図 1 6】

本発明のフォトマスクに形成されるピンホールパターンの変形例を示す平面図。

【図 1 7】

本発明のフォトマスクの変形例を示す平面図。

【図 1 8】

従来のコントラスト測定手法を説明するための図。

【符号の説明】

1 …照明光学系

2 …露光光

3, 2 1, 7 0, 8 0, 1 3 1 …フォトマスク

4 …投影光学系

4 a …瞳

5 …ウェハ

6 …0 次回折光

7 a …+ 1 次回折光

7 b …- 1 次回折光

2 2, 7 1 a ~ 7 1 d, 8 1, 1 1 2, 1 3 2 …ピンホールパターン

2 3, 7 3, 1 1 1, 1 6 1 c, 1 6 2 e …遮光領域

2 4, 7 2 a ~ 7 2 d, 1 6 1 a, 1 6 1 b, 1 6 2 a ~ 1 6 2 d …回折パターン

ン

25, 74, 82, 113, 133...遮光部

26, 75, 83, 114, 135...透光部

31, 91, 121, 141...光到達可能領域

32, 92, 122, 146...0次回折光パターン

33a...+1次回折光パターン

33b...-1次回折光パターン

51a~51d, 61a~61d, 161, 162...マスクパターン

62e~62h, 76a~76d, 101~106...レジストパターン

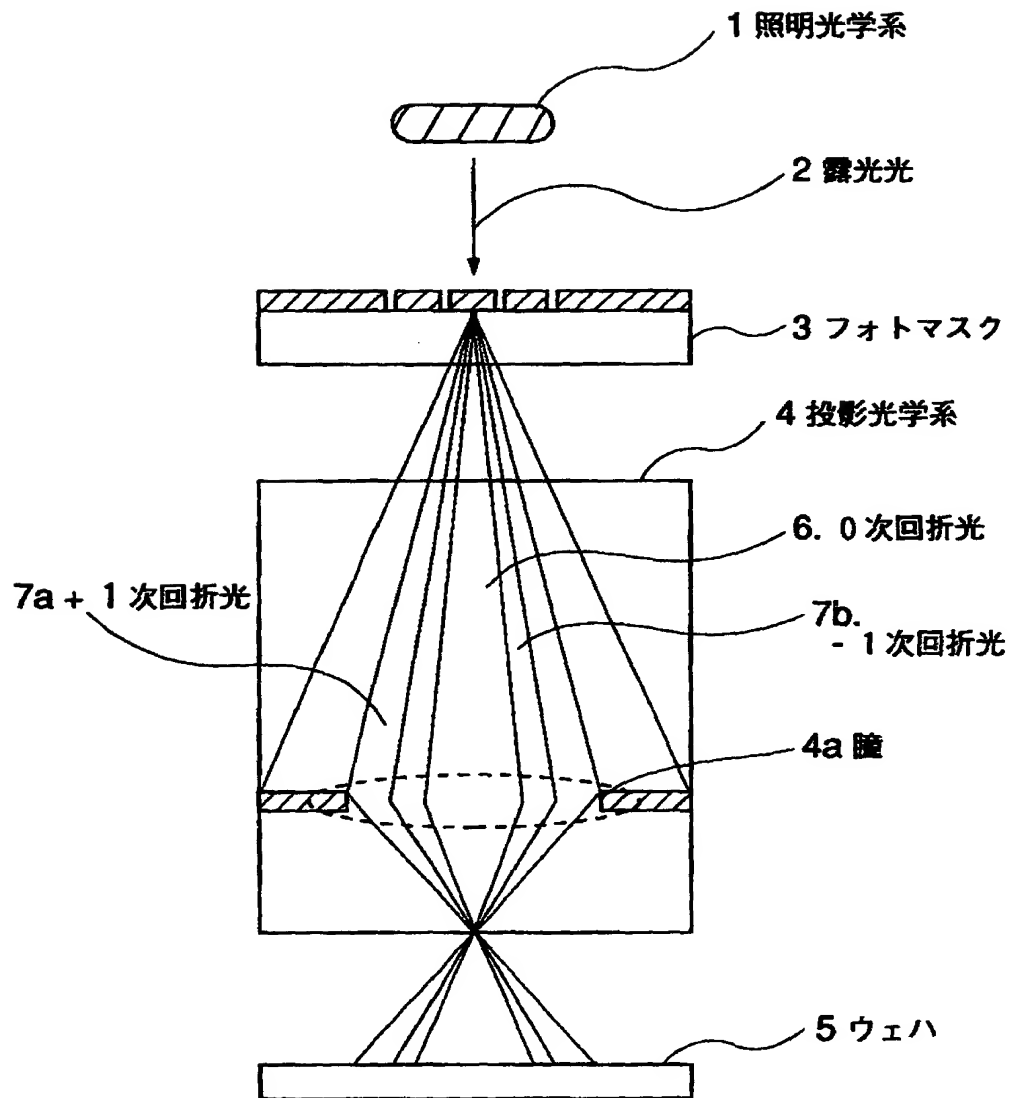
93~96, 123~128, 142~145...1次回折光パターン

134...ハーフトーン位相シフト部

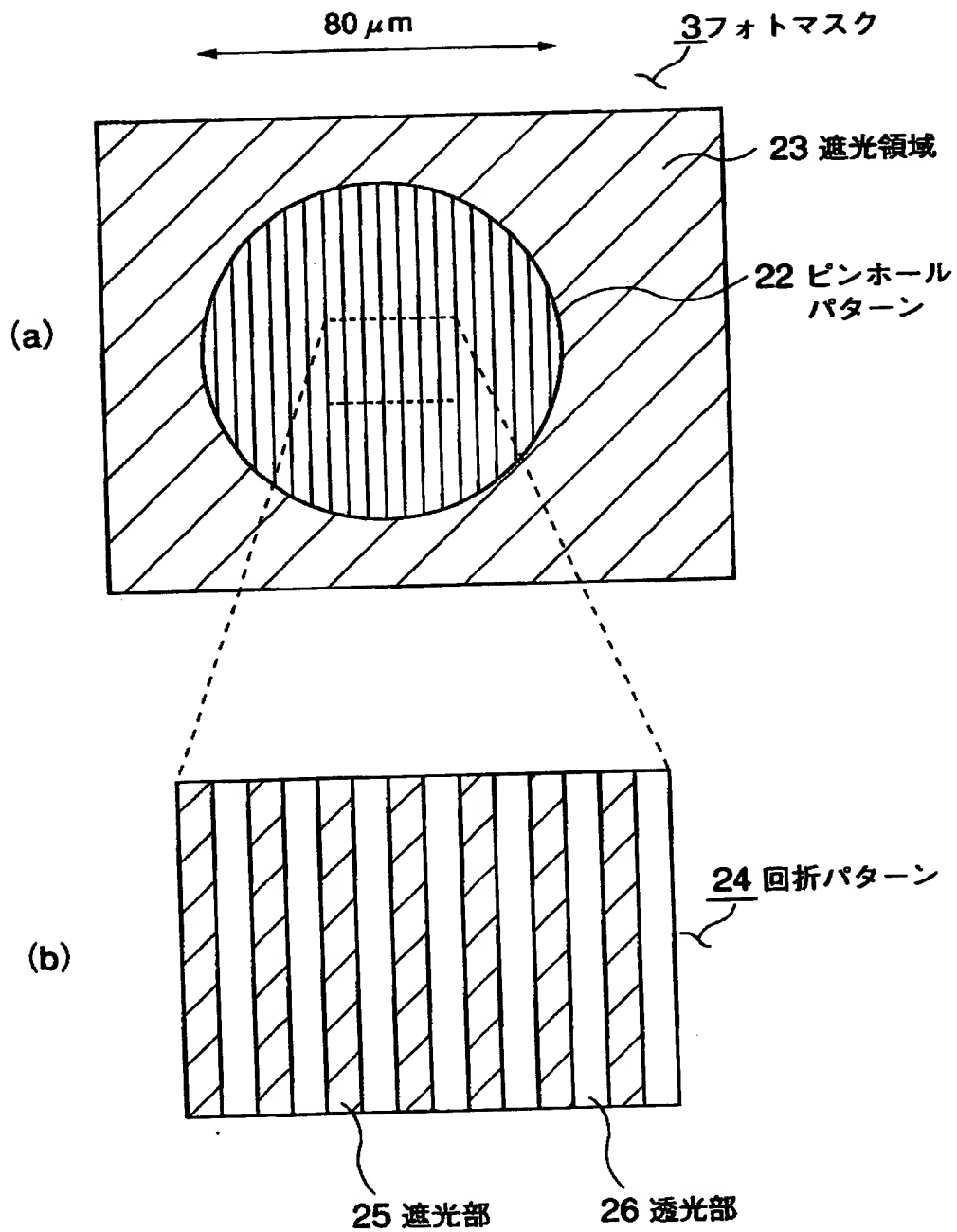
【書類名】

図面

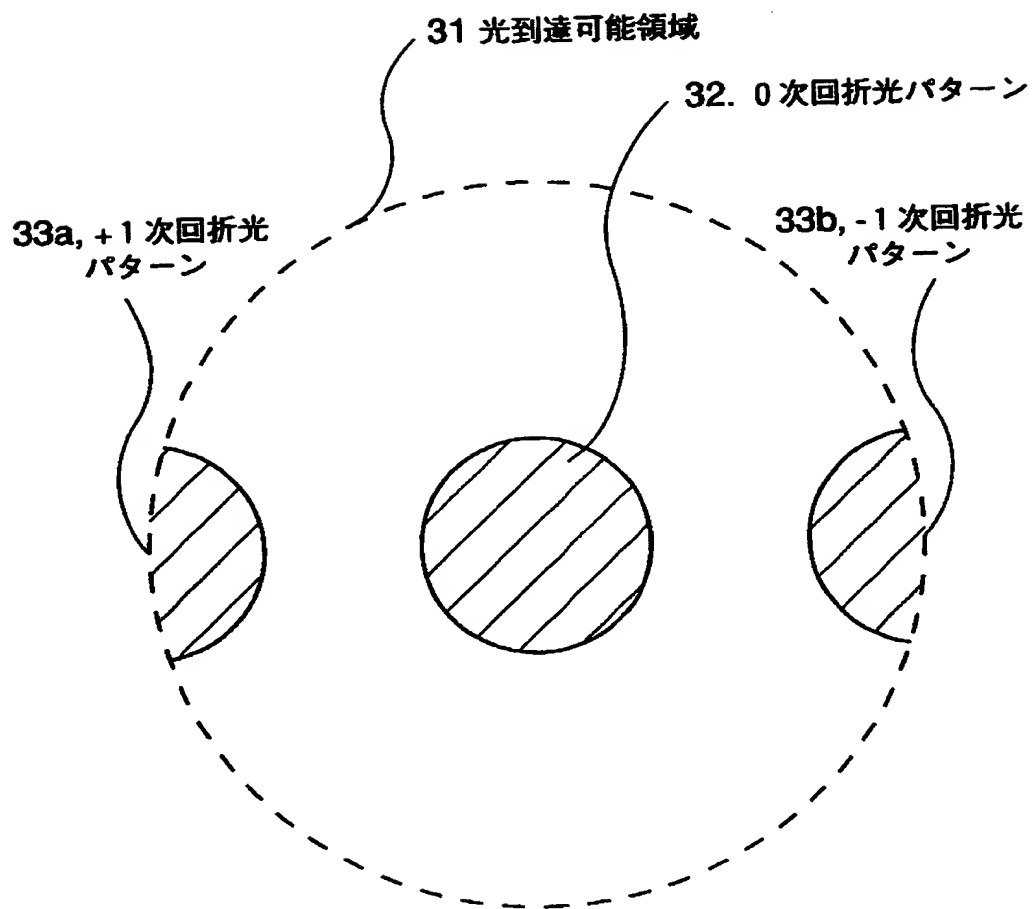
【図1】



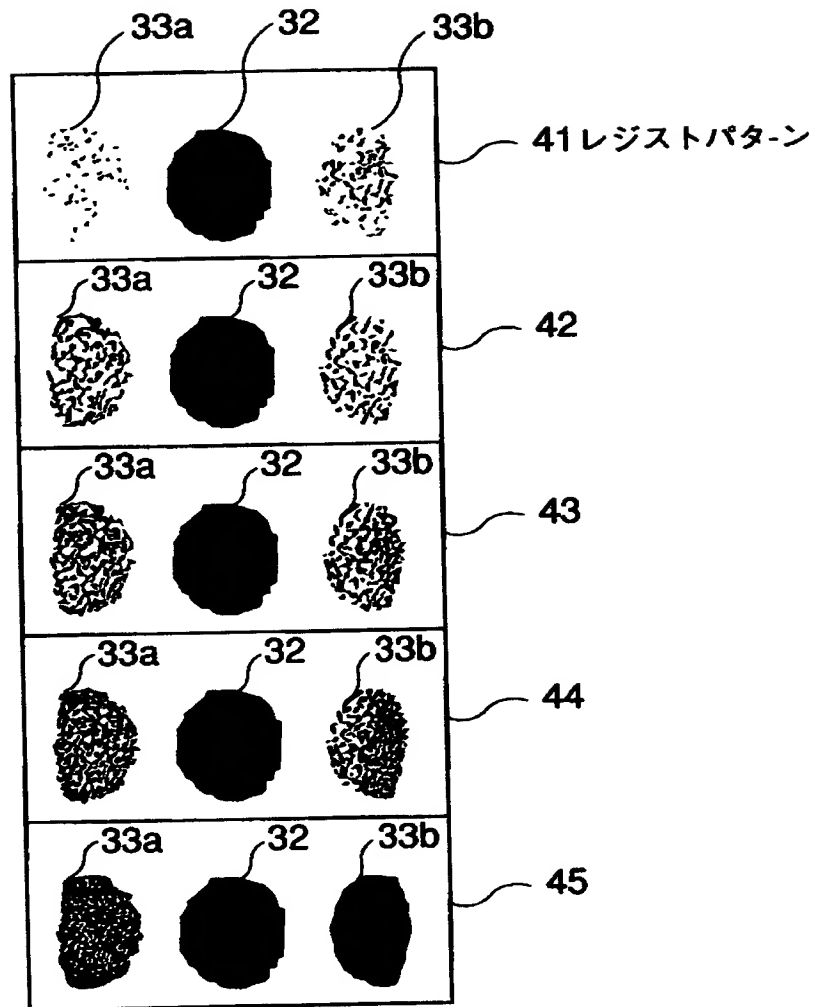
【図 2】



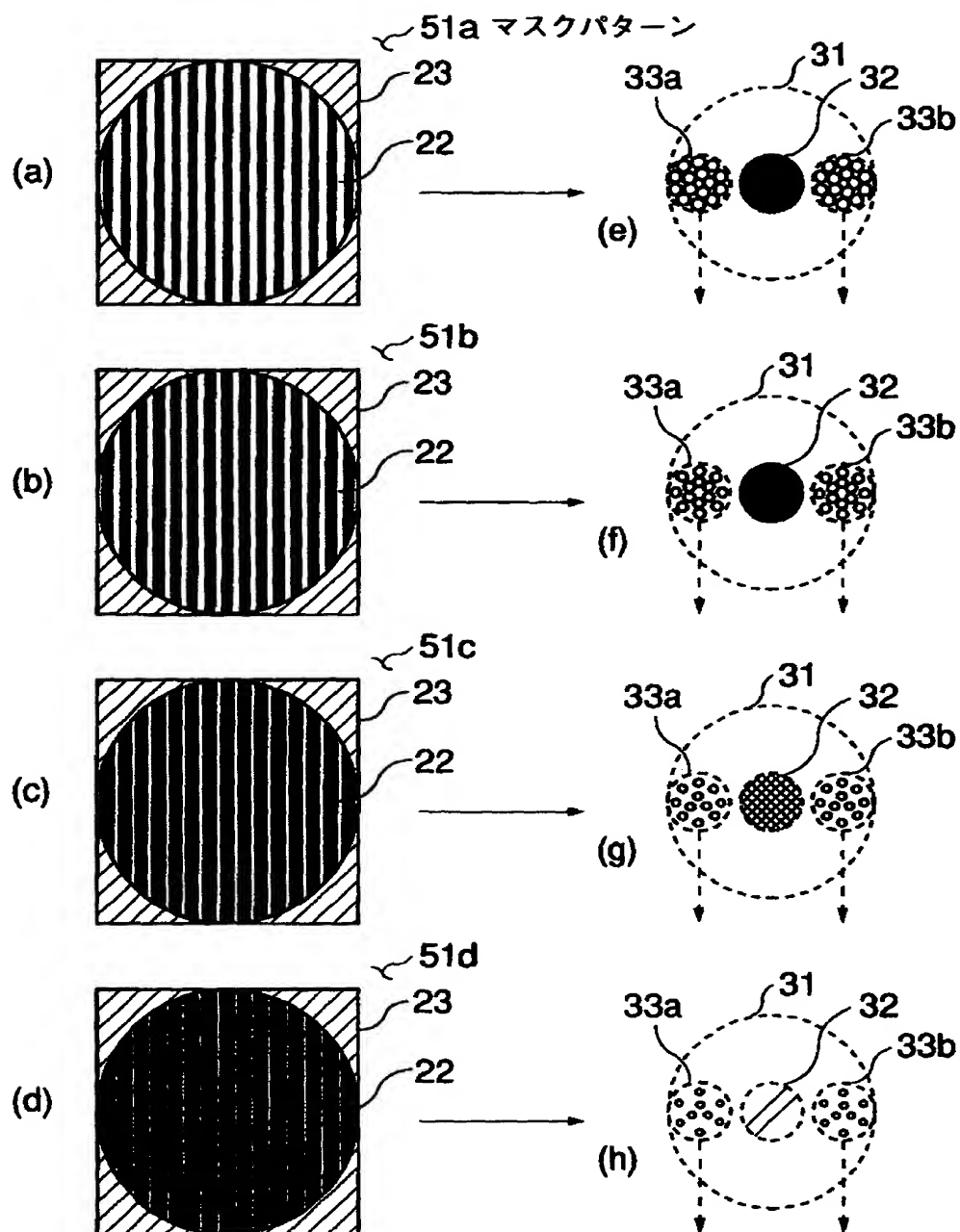
【図 3】



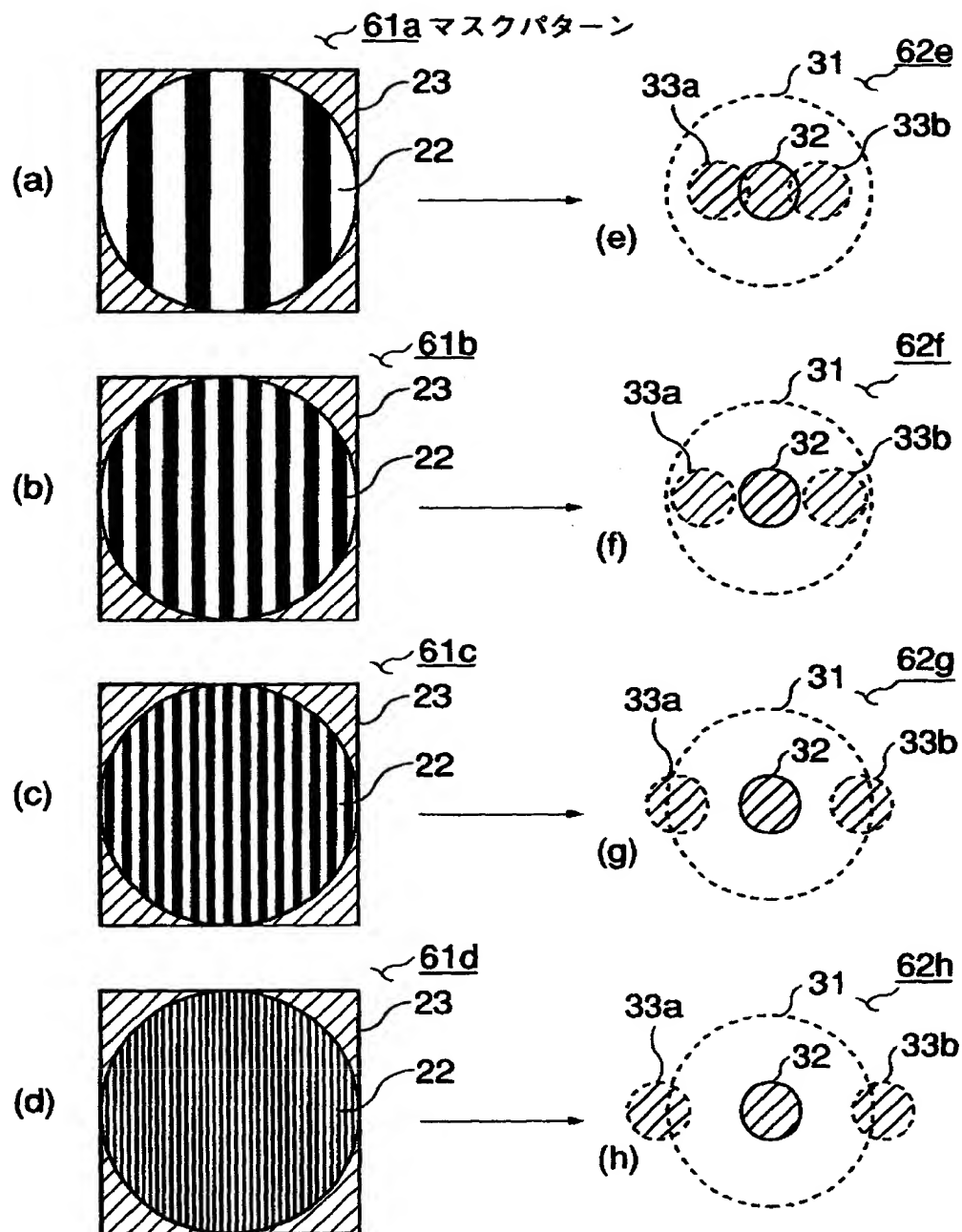
【図 4】



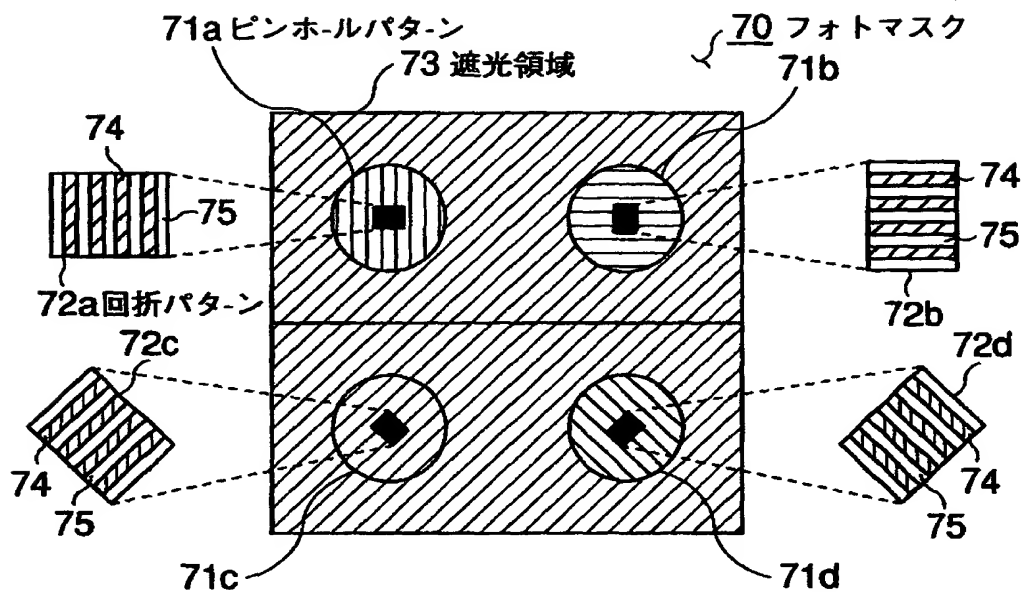
【図 5】



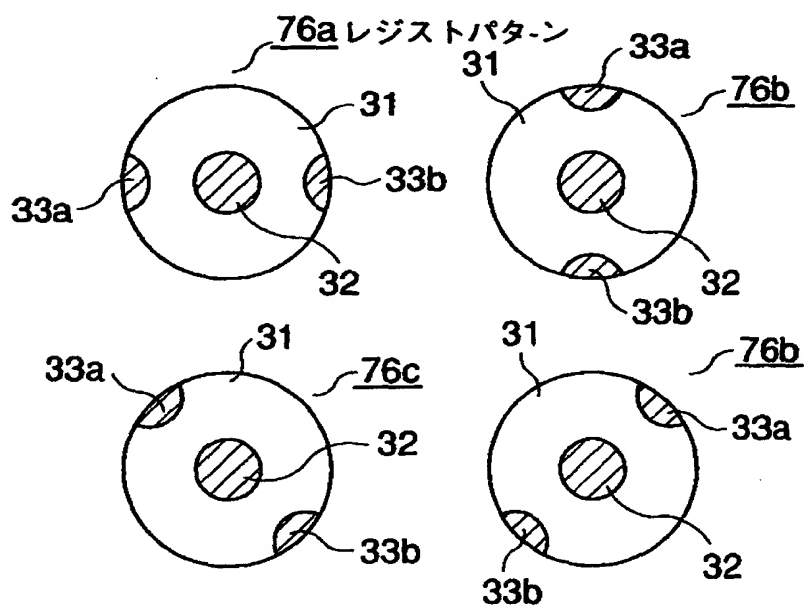
【図6】



【図 7】

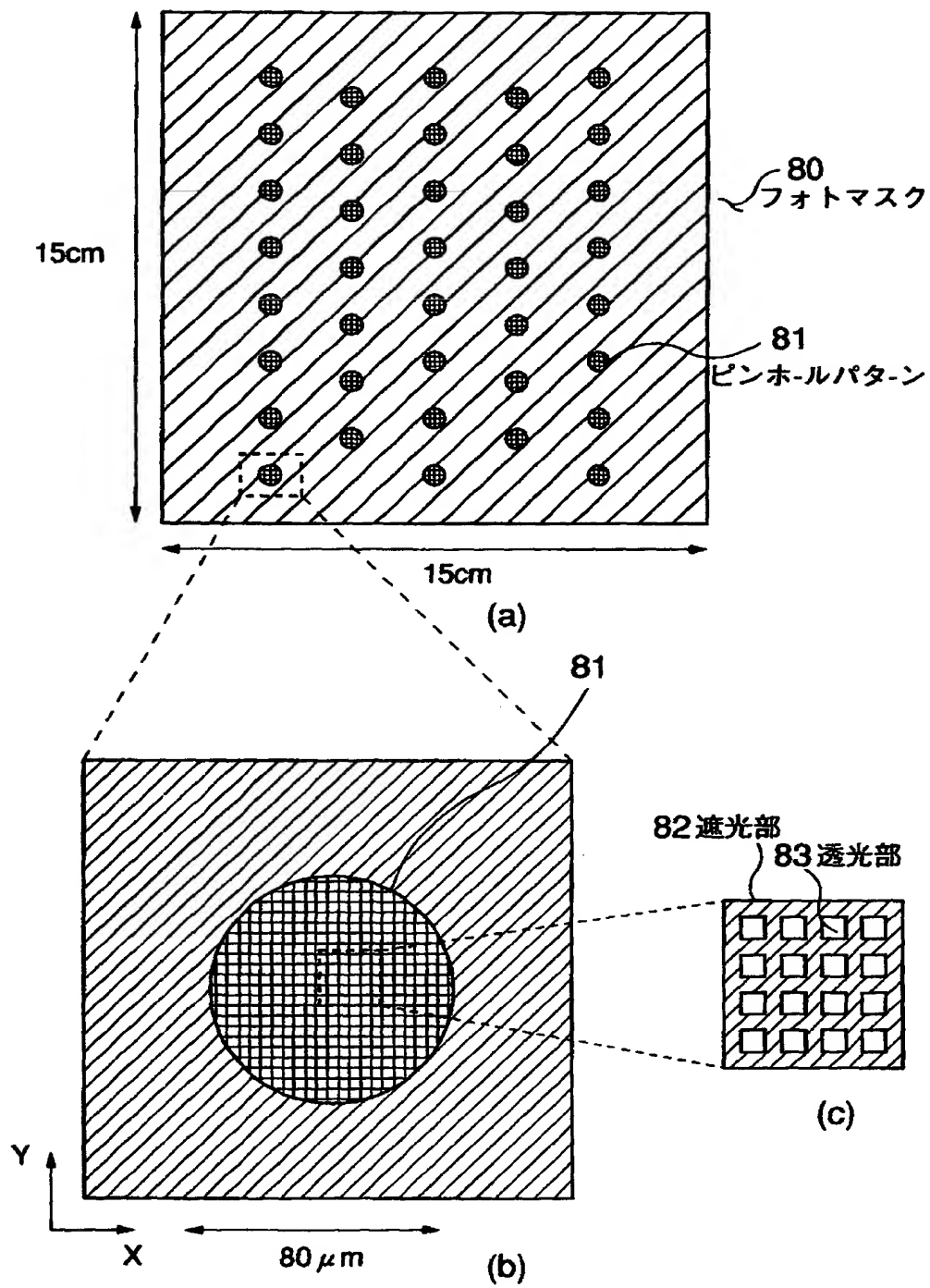


(a)

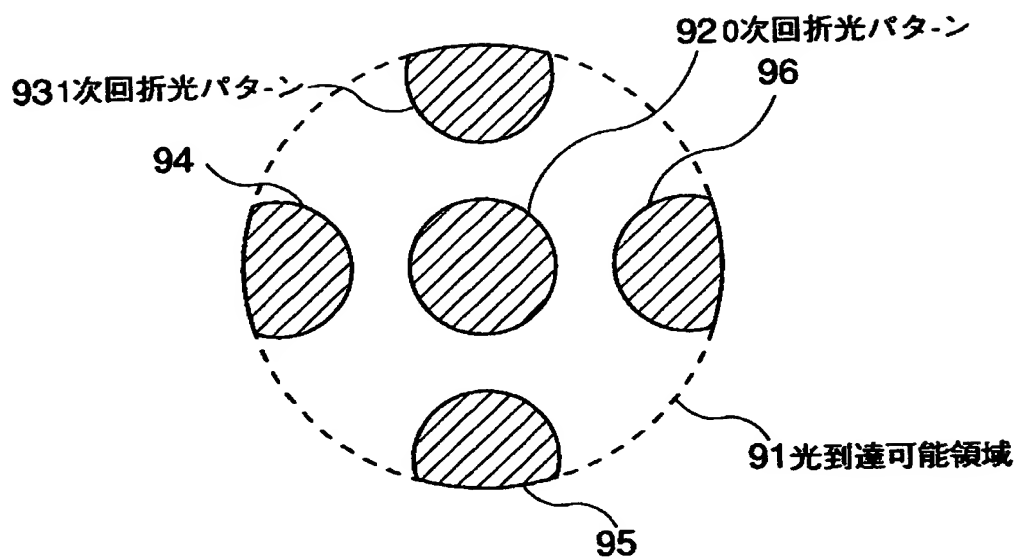


(b)

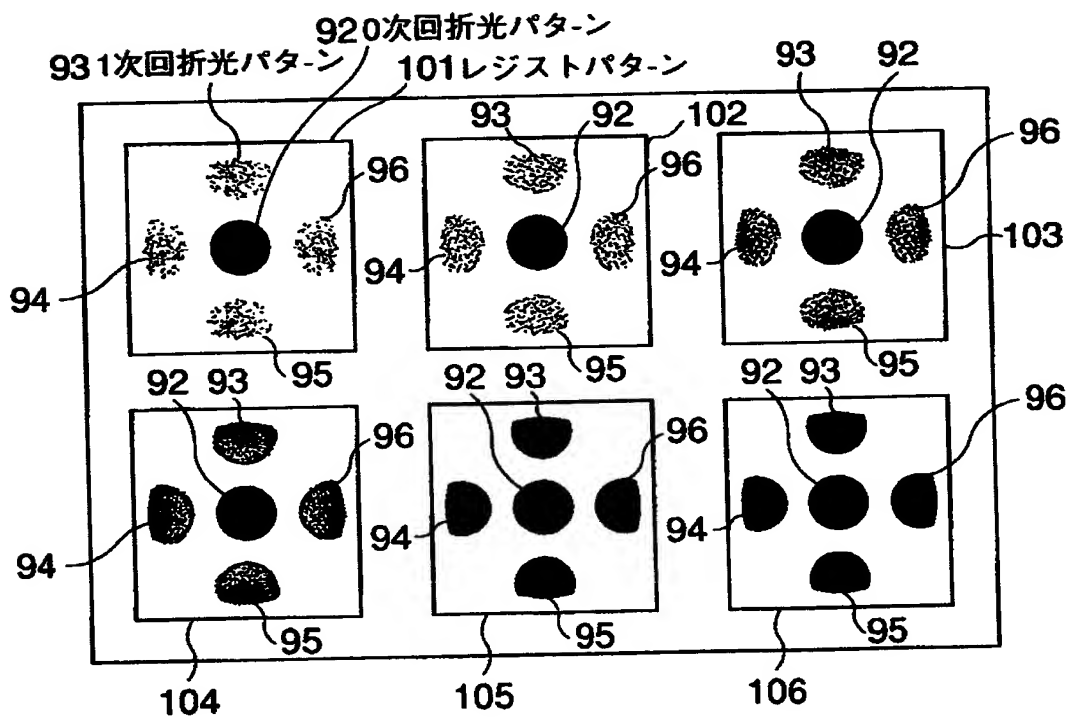
【図8】



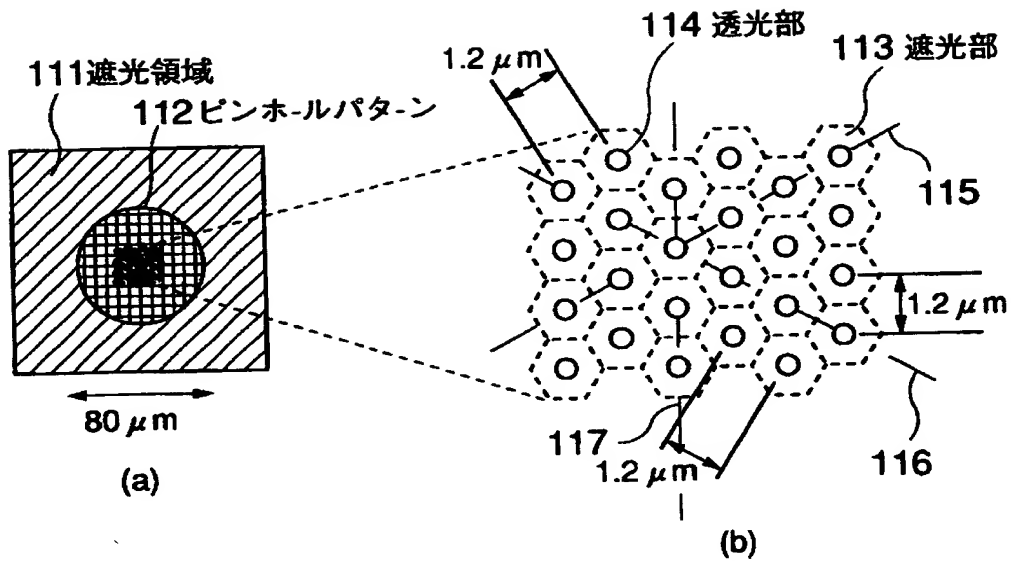
【図 9】



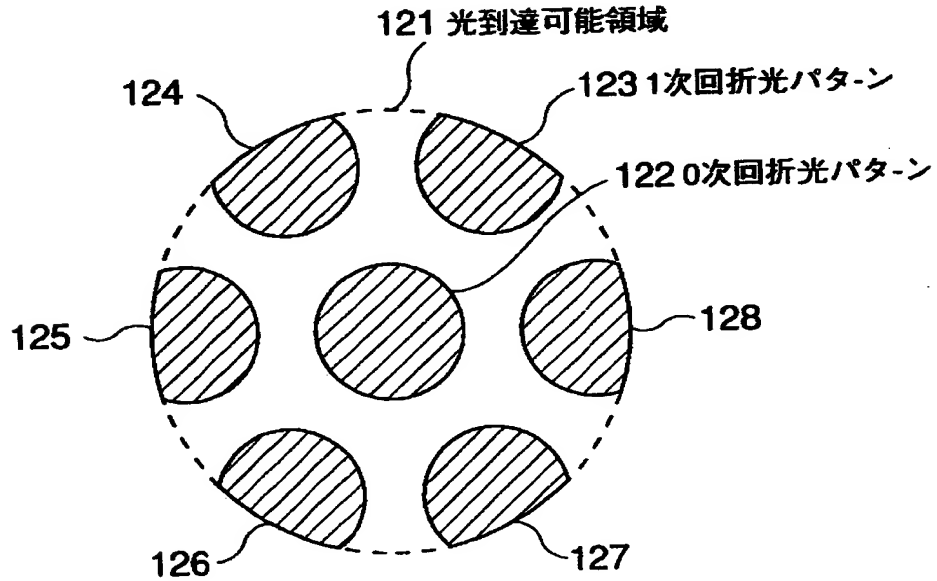
【図 1 0】



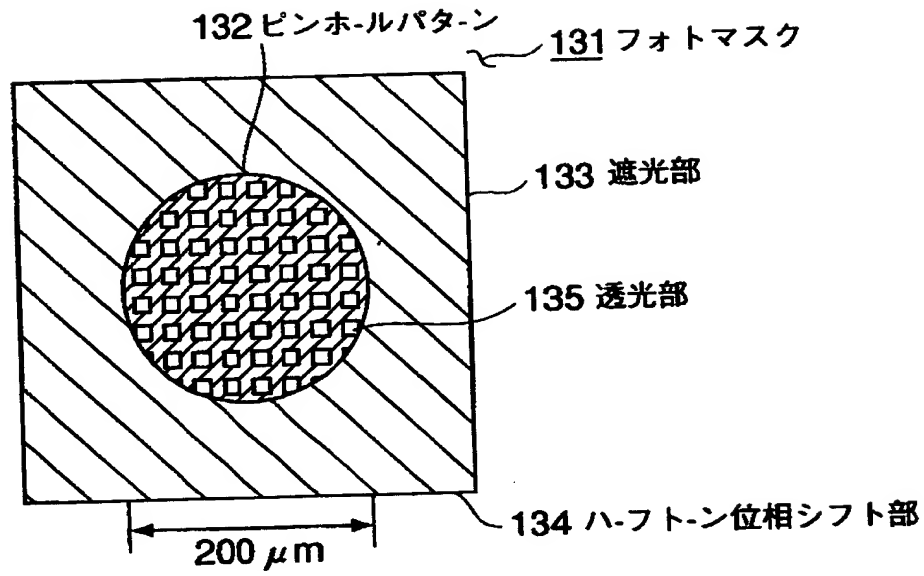
【図 1 1】



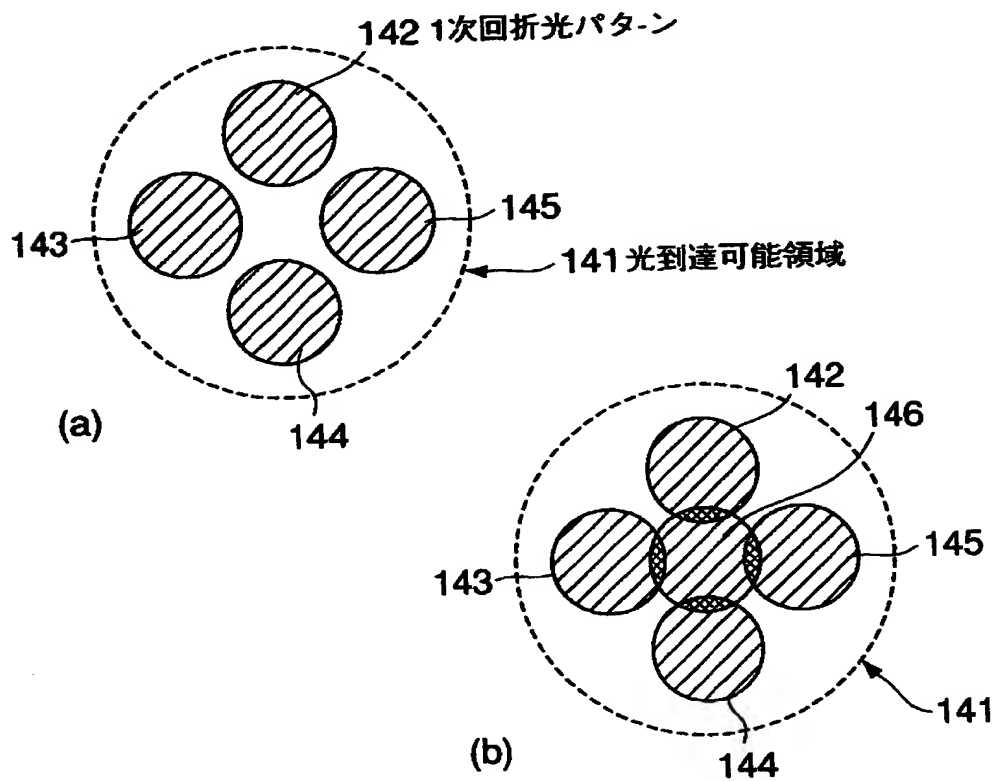
【図 1 2】



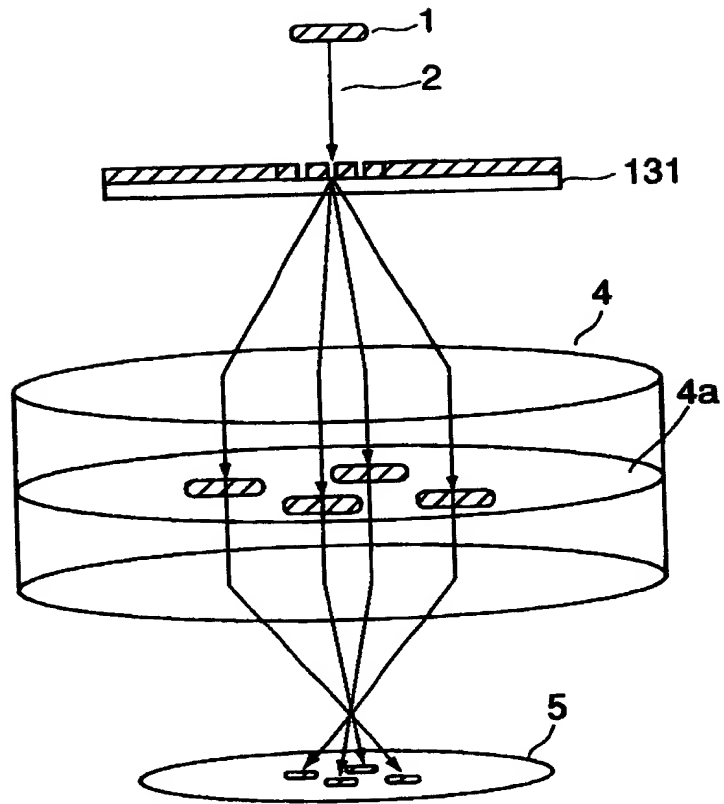
【図13】



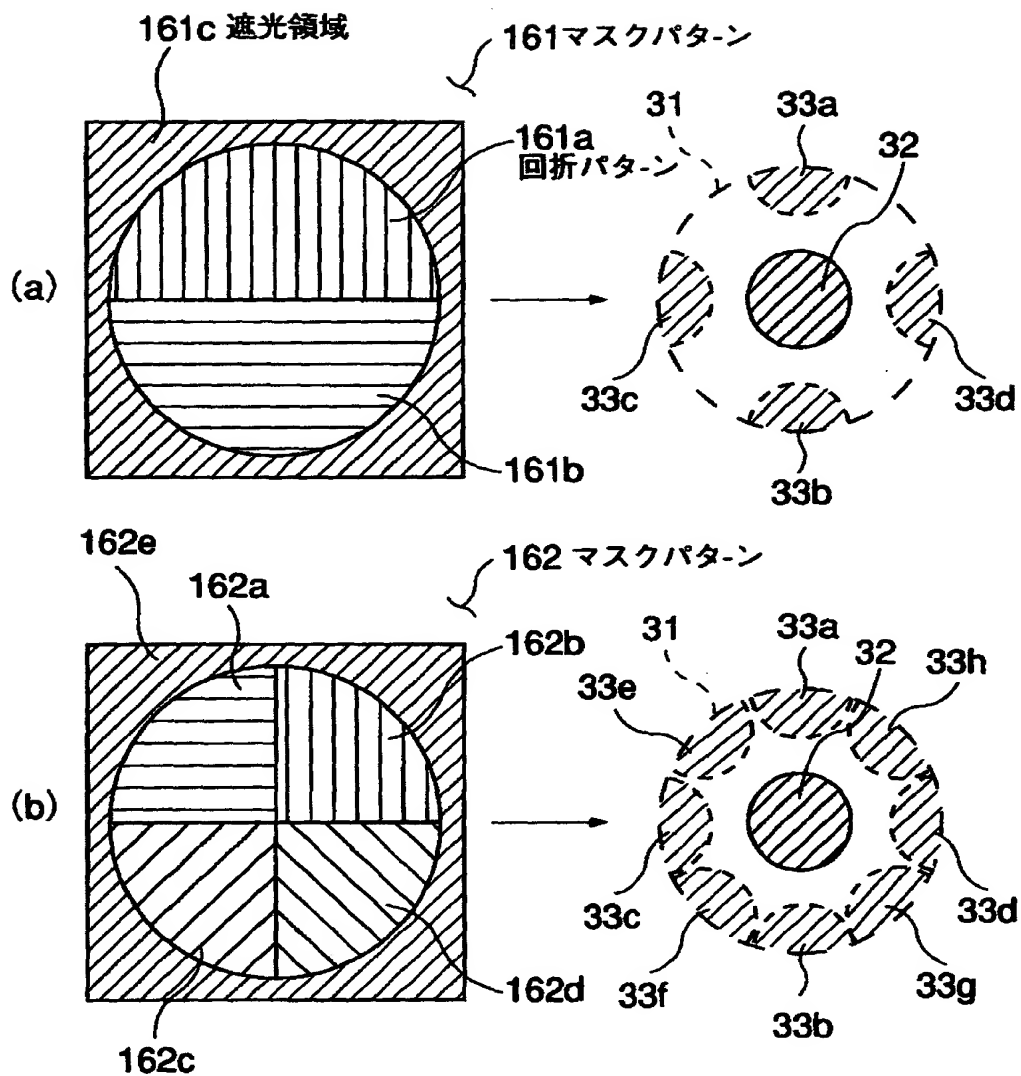
【図14】



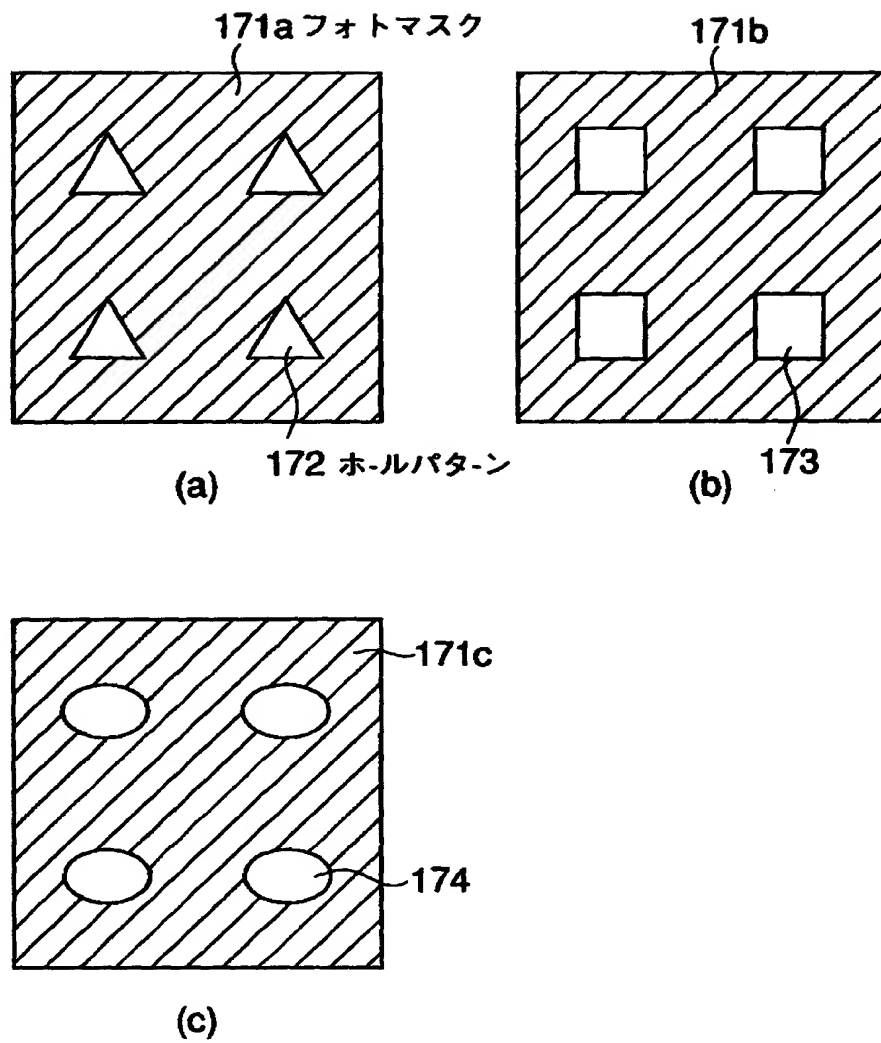
【図 1 5】



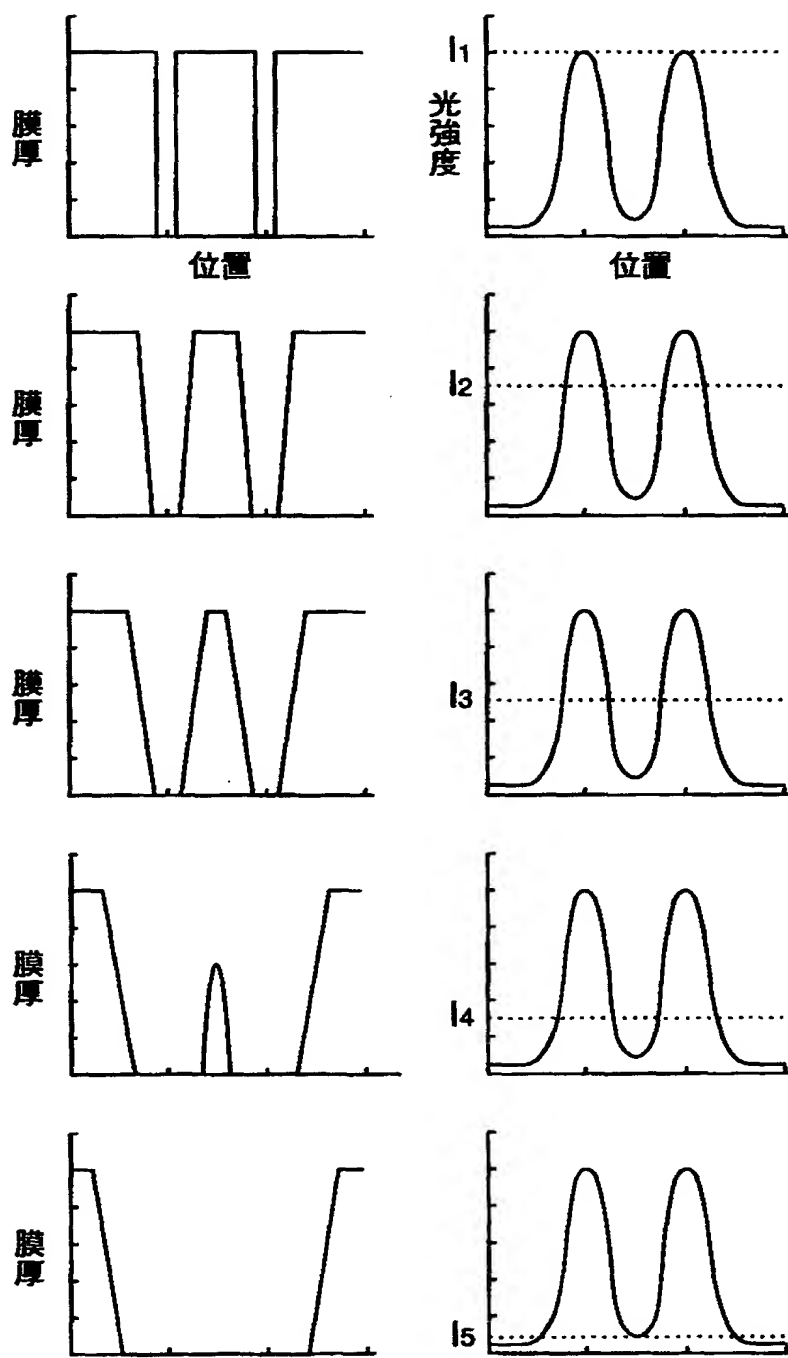
【図 1 6】



【図17】



【図 18】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光の経路に依存した投影光学系の光透過率の変動を特定する。

【解決手段】 照明光学系 1 から射出した光を、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返され、かつ該透光部と遮光部の比が複数次与えられた回折格子パターンであって周囲を遮光領域で遮られた光透過パターンを含む光学部材によりパターンが形成されたフォトマスク 3 に導き、フォトマスク 3 を通過した回折光を投影光学系 4 に照射させてパターンをウェハ 5 上に転写し、ウェハ 5 上に転写された回折光のパターン像に基づいて、投影光学系 4 の光の経路に依存した透過率の変化を測定するものであって、フォトマスク 3 とウェハ 5 が投影光学系 4 に関して非共役な状態でパターン転写する。

【選択図】 図 1

特 2 0 0 0 - 0 3 6 6 9 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 3 0 7 8]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 2 日
[変更理由]	新規登録
住 所	神奈川県川崎市幸区堀川町 7 2 番地
氏 名	株式会社東芝